

УДК 539.3

Лавинский Денис Владимирович
НТУ «ХПИ»
(Харьков, Украина)

АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ СОСТАВНЫХ ПРЕСС-ФОРМ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. В работе рассматривается температурное деформирование составной пресс-формы для обработки порошков высокопрочных, тугоплавких материалов. Создана расчетная схема в рамках осесимметричной постановки. Задача решалась методом конечных элементов, базовым был выбран четырех узловой осесимметричный элемент с билинейной аппроксимацией узловых перемещений и температуры. Решена задача нестационарной теплопроводности, а затем задача анализа напряженно-деформированного состояния при различных режимах распределения температуры.

Ключевые слова: порошковые материалы, составная пресс-форма, метод конечных элементов, нестационарная теплопроводность, напряженно-деформированное состояние.

Lavinsky Denis V.

NTU "KhPI"

(Kharkov, Ukraine)

ANALYSIS OF THERMAL DEFORMATION OF COMPOSITE MOLDS FOR THE PROCESSING OF POWDER MATERIALS

Abstract. *This paper considers thermal deformation of composite molds for the processing of powders of high strength, refractory materials. The design scheme in the context of axisymmetric formulation is created. The problem was solved by the finite element method; basic element was selected as four nodal axisymmetric one with bilinear approximation of nodal displacements and temperature. The problem of transient heat-transferring was solved, and then the analysis problem of the stress-strain state at various modes of temperature distribution was solved too.*

Keywords: *powder materials, composite molds, finite element method, transient heat-transferring, stress-strain state.*

Введение. Процесс прессования порошковых материалов (ПМ) присутствует при многих технологических операциях. В настоящий момент ПМ являются преобладающим сырьем для создания изделий из тугоплавких высокопрочных материалов типа вольфрама, кобальта, никеля.

Производство изделий из ПМ происходит в пресс-формах, основными элементами которых являются матрица и пуансон. Увеличение давления прессования приводит к увеличению силового воздействия на технологическую оснастку. Повышенные прочностные требования предъявляются к матрицам, которые формируют поверхность производимого изделия. Оценки прочности могут быть сформулированы на базе адекватного анализа деформирования элементов технологической оснастки. Современный подход требует рассматривать деформирование элементов технологической оснастки совместно с обрабатываемой заготовкой, деформирование которой обязательно должно рассматриваться в упруго-пластической постановке.

В некоторых случаях при обработке высокопрочных тугоплавких материалов производится предварительный нагрев обрабатываемого ПМ, с целью снижения его прочностных свойств. Известно, что тугоплавкие материалы типа карбида вольфрама могут быть нагреты в еще большем диапазоне температур, не подвергаясь при этом плавлению. Представленная информация позволяет сделать вывод об эффективности предварительного нагрева ПМ для дальнейшей механической обработки. В случае прессования нагретых ПМ элементы технологической оснастки в результате взаимодействия с обрабатываемым изделием также подвергаются нагреву, что вызывает возникновение температурных деформаций, вклад которых в общий процесс деформирования может быть значительным, а, следовательно, должен учитываться при анализе напряженно-деформированного состояния. Исследование распространения температуры и последующего упруго-пластического деформирования тел сложной конфигурации в рамках единой постановки возможно только лишь с

применением численных методов анализа, наиболее эффективным из которых является метод конечных элементов (МКЭ).

Постановка задачи. Рассмотрим одно из направлений, которое предполагает прессование новых изделий из порошков тугоплавких соединений типа карбида вольфрама, кобальта, никеля. Эффективным процесс прессования может быть только при повышенных температурах. Так при температуре обрабатываемого порошка ~ 1800 °С и удельных давлениях 30-40 МПа прессование может проводится в матрицах из тугоплавких материалов.

Увеличение давления прессования в данном случае приводит к разрушению матриц из тугоплавких материалов, что требует использования материалов с повышенными прочностными характеристиками. При уровнях давления 40-100 МПа можно использовать для матрицы углерод-углеродный композиционный материал – УУКМ, имеющий высокие механические свойства при повышенных температурах [1, 2].

На рис.1 представлена схема устройств, использующихся для прессования полых изделий из тугоплавких ПМ. Здесь представлены: двухслойная пресс-форма, состоящая из внутреннего вкладыша из графита – (1) и наружного цилиндра-матрицы из УУКМ – (2); центральный стержень из графита или УУКМ – (3); прессуемый брикет из порошка – (4); верхний – (5) и нижний – (6) пуансоны Т-образной формы в продольном сечении; поршни гидравлического пресса – (7), передающие сжимающую силу P на пуансоны; несущая рама – (8). Возможны два режима прессования. Первый: подготовленная к прессованию пресс-форма находится в камере с нагревателями, прессование проводится при равномерном нагреве пресс-формы вместе с заготовкой до ~ 1800 °С. Второй режим: прессование разогретого ПМ, который помещается в не нагретую пресс-форму.

Предварительно была создана расчетная схема реальной системы, при создании ее использовались те же принципы, что и в работах [3, 4]. Поведение материала пуансонов, матрицы, вкладыша и центрального стержня рассматривается в рамках упругой постановки. Поведение материала заготовки, принималось в рамках упруго-пластической модели. Между составными частями пресс-формы учитывались условия контактного взаимодействия, по способу, описанному в работе [5]. Условия нагружения и закрепления позволяют рассматривать задачу в осесимметричной постановке. Конечно-элементная модель была создана на основе четырех узлового осесимметричного конечного элемента с билинейной аппроксимацией узловых перемещений и температуры.

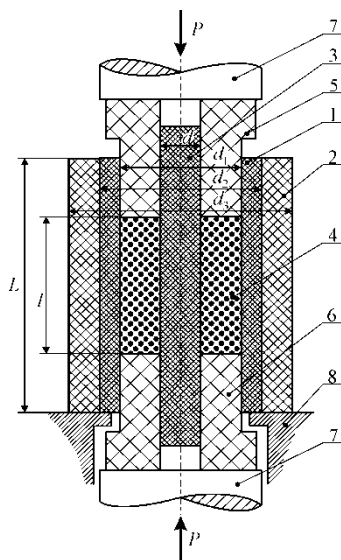


Рисунок 1 – Устройство для прессования полых изделий из порошков

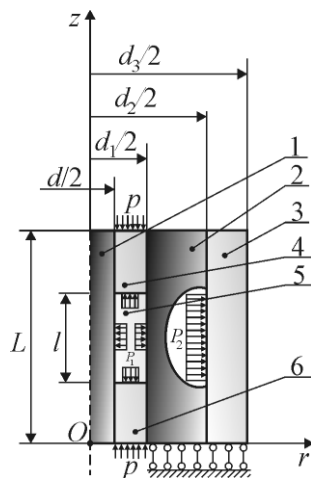


Рис. 2 – Расчетная схема устройства для прессования полых изделий из порошков: 1 – центральный стержень; 2 – вкладыш; 3 – матрица; 4,6 – пуансоны; 5 – брикет из порошка

Анализ результатов. Для определения температурного поля при прессовании решалась задача нестационарной теплопроводности при граничных условиях, соответствующих конвективному теплообмену с внешней средой на внешних торцах пуансонов и центрального стержня, на торцах вкладыша и на торцах и внешней поверхности матрицы. Применительно к расчетным схемам, приведенным на рис.2, условия конвективного теплообмена задавались в точках с координатами $(r,0)$, (r,L) и $(d_3/2,z)$.

Предполагалось, что температура заготовки изменяется во времени по кусочно-постоянному закону (рис.3). Так схематизирован режим изменения температуры заготовки в процессе прессования: предполагалось, что при засыпке ПМ и дальнейшем прессовании (в течении 100 с) температура заготовки постоянна и составляет 1800°C , далее в течении 25 с в реальности заготовка отсутствует в пресс-форме – мы принимаем ее температуру в это время равной 25°C . При интегрировании варьировался шаг по времени: $\Delta t = 0.5 \text{ с}; 0.25 \text{ с}; 0.1 \text{ с}; 0.05 \text{ с}$. Задача решалась на временном интервале от 0 до 1100 с, что соответствует 10 прессованиям.

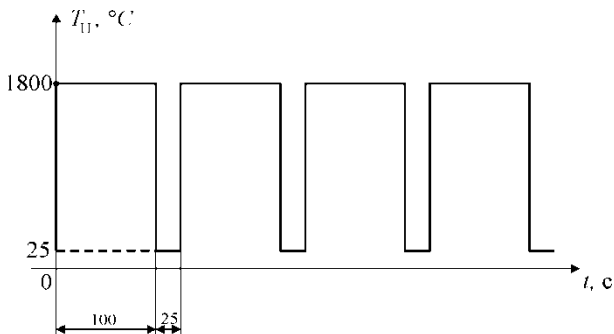


Рис.3. Изменение во времени температуры заготовки

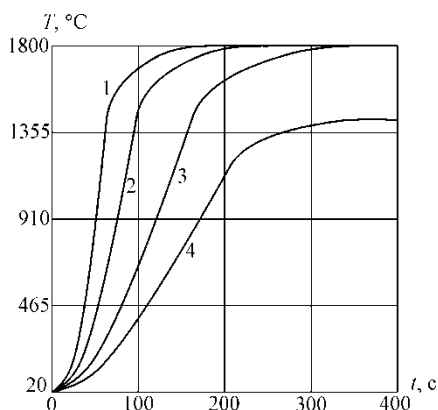


Рис.4 Зависимость от времени температуры в различных точках пресс-формы.

1 – внутренняя граница вкладыша; 2 – внутренняя граница матрицы; 3 – внутренняя граница матрицы; 4 – наружная граница матрицы

На рис.4 представлены графики зависимости от времени температуры в различных точках пресс-формы. Приведенные графики показывают, что установившийся режим даже в самых удаленных точках от источника тепловыделения достигается примерно за 300 с (кривая 4), что соответствует уже третьему прессованию, т. о., при всех последующих прессованиях элементы пресс-формы будут находиться в установившемся температурном режиме и рассмотрение данной режима является обоснованным в данном случае. Для точек, принадлежащих внутренней поверхности вкладыша и торцам пуансонов, которые соприкасаются с нагретой заготовкой, температура достигает 1800°C уже при первом прессовании в момент времени приблизительно равный 85 с.

Перейдем к анализу НДС составной пресс-формы, которая подвергается силовому и температурному воздействию. Выше было указано, что можно различать три граничных режима температурного воздействия на элементы пресс-форму: режим первого прессования, когда пресс-форма не нагрета, установившийся режим распределения температуры, который

возникает за три прессования и равномерный нагрев и пресс-формы и заготовки (в первых двух случаях заготовка также считается нагретой равномерно). Очевидно, что в этих трех случаях элементы пресс-формы будут нагружены по-разному, наибольший интерес представляет случай максимального нагружения элементов пресс-формы, особенно матрицы и пуансонов, которые должны выдерживать несколько циклов прессования. Для режима первого прессования использовались значения температуры, полученные из решения задачи нестационарной теплопроводности (для момента времени 85 с).

Представленные на рис.5 и рис.6 графики позволяют сделать вывод, что наиболее нагруженными элементы пресс-формы являются в том случае, когда имеет место равномерный нагрев до температуры 1800°C. Связано это с тем, что материалы элементов пресс-формы обладают достаточно большими коэффициентами линейного расширения и, соответственно, приобретают значительные температурные деформации.

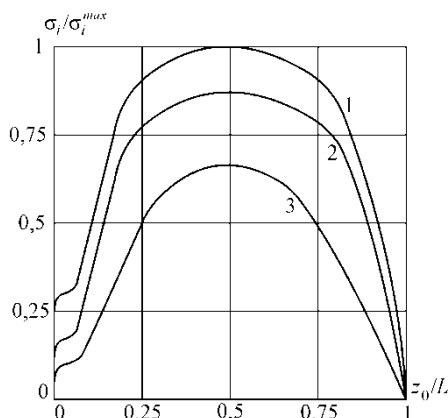


Рис.5 Распределение интенсивности напряжений вдоль внутренней поверхности матрицы при различных температурных режимах: 1 – равномерный нагрев всех элементов до 1800 °С; 2 – стационарный режим; 3 – режим первого прессования.

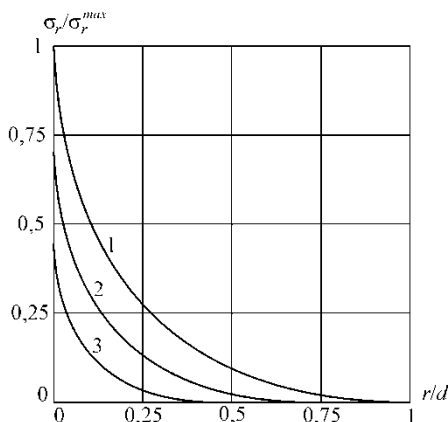


Рис.6 Распределение радиальных напряжений вдоль по толщине пресс-формы при различных температурных режимах: 1 – равномерный нагрев всех элементов до 1800°C; 2 – стационарный режим; 3– режим первого прессования.

Выводы. В работе проанализировано температурное деформирование составной пресс-формы для прессования порошков высокопрочных тугоплавких материалов. Решена задача нестационарной теплопроводности, на базе которой проведен анализ напряженно-деформированного состояния. Сравнивались результаты для трех граничных режимов температурного воздействия. Выяснилось, что наиболее нагруженными элементы пресс-формы являются в случае равномерного нагрева.

Список использованных источников:

1. Бушуев Ю.Г., Персин М.И., Соколов В.А. Углерод-углеродные композиционные материалы. Справочник. М. «Металлургия», 1994, 128 с.
2. Свойства конструкционных материалов на основе углерода. Справочник под ред. В.П. Седова. – М. «Металлургия», 1975, 336с.
3. Ашихмин В.П. Анализ прочности элементов пресс-форм из углерод-углеродных материалов для псевдоизостатического прессования / В.П. Ашихмин, О.В. Бирюков, В.А. Гурин, Б.Б. Затолока, В.В. Колосенко, С.Ю. Саенко, Д.В. Лавинский, О.К. Морачковский // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение (91). – 2007. – № 6. – С. 120-123.
4. Бирюков О.В. Статический анализ прочности конструктивных элементов пресс-форм для прессования изделий из порошков / О. В. Бирюков, С. Ю. Саенко, В.В. Колосенко, Лавинский Д.В., Соболев В.Н., Морачковский О.К. // Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ": сб. науч. тр. Темат. вып.: Динамика и прочность машин. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2006. – № 32. – С. 28-32.
5. Бондарь С. В. Исследование термоупруго-пластического контактного деформирования составных конструкций технологической оснастки / С. В. Бондарь, Д. В. Лавинский // Проблемы прочности. – 2011. – № 4. – С. 114-123.